第37卷 第6期
2020年11月
干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH
Vol. 37 No. 6
Nov. 2020

1961—2018年内蒙古生长季昼夜降水气候特征

申露婷[1,2]， 张方敏[1,2]， 黄 进[1,2]， 李云鹏[3]

（1. 南京信息工程大学应用气象学院，气象灾害预报预警与评估协同创新中心，江苏 南京 210044；
2. 南京信息工程大学江苏省农业气象重点实验室，江苏 南京 210044；3. 内蒙古自治区生态与
农业气象中心，内蒙古 呼和浩特 010051）

摘 要：基于1961—2018年内蒙古地区103个气象观测站的逐日地面降水资料，运用趋势分析、Mann-Kendall检验和小波分析方法，分析过去58 a间内蒙古生长季昼夜降水量和降水日数时空分布特征，为未来内蒙古农业发展和生态修复工程的开展提供科学指导。结果表明：(1) 内蒙古地区生长季多年平均昼降水量和昼降水日数总体上多于夜降水量和夜降水日数，且月份特征差异显著。昼夜降水量和日数均存在不同的周期变化特征，但区域昼夜降水总量基本没变，昼夜降水日数呈减少趋势。(2) 内蒙古地区生长季平均年降水量和降水日数空间分布均呈现由东北向西北均匀递减的特征，但是在内蒙古中南部和东部昼降水量对日降水量贡献高，昼夜降水量差值和昼夜降水日数差值大，在西部昼夜降水量和降水日数差异小。(3) 生长季昼夜降水量空间变化相似，即中部下降，西部和东北部增加。但是昼夜降水日数空间变化差异较大，昼降水日数在西部基本不变，在中部和东北部基本呈下降趋势，而夜降水日数在中西部和东北西部呈增加趋势，在东南至东北部呈下降趋势。

关键词：昼夜降水；夜雨率；变化趋势；变化周期；内蒙古

20世纪以来，全球气温以变暖为主[1]，但是降水变化地区分布极不均匀。就中国降水空间变化而言，中国东南沿海、长江下游以及青藏高原、西北地区西部降水增加，东北中南部、华北、华中、西北东部地区和西南地区降水减少[2-4]，在西北地区可能会出现干湿转型[5-6]。

降水的昼夜分布情况会改变水分循环及影响植被状况[7-8]，比如昼间降水比夜间降水更容易蒸发，影响大气湿对流和云的形成，进而改变地表温度的格局[7]。Liu等[8]把夜雨作为重要的农业气候资源研究，指出夜雨在作物生态环境中起着至关重要的作用，可部分缓解干旱季节作物需水的不足。随着昼夜降水的重要性被认知，更多的地区开展了昼夜降水特征研究[9-11]。王胜等[9]对淮河流域昼夜降水进行了分析，该地区昼夜降水空间差异明显，年夜降水量和降水日数略多于昼降水量和降水日数，研究证明有利于农作物的生长以及农业生产活动的展开。

内蒙古地区位于中国北部，由东北向西南斜伸，横跨东北、华北和西北三大区域，是湿润、半湿润气候向半干旱、干旱气候过渡地区[12]，大部分处于农牧交错带，生态环境脆弱，气候变化敏感性高[13]。近年来，降水的变异性增强对畜牧业的可持续发展非常不利[14]，因此，研究内蒙古地区的昼夜降水特征对保护和建设内蒙古生态环境具有重要的现实意义。

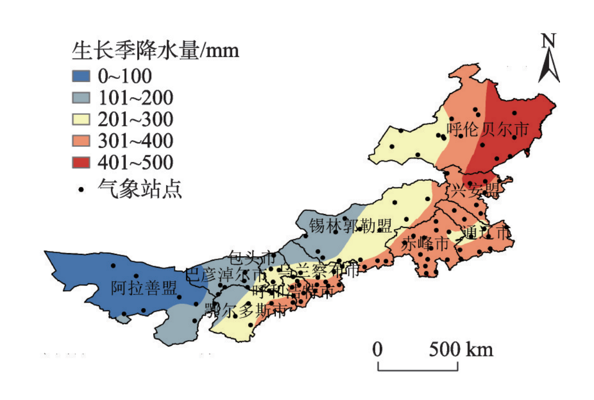
目前，针对内蒙古降水的研究多侧重于年降水量的时空分布[15]，而该地区5—9月是主要降雨期，也是该地区农作物和牧草的生长季节。鉴于此，本文运用趋势分析、Mann-Kendall检验和小波分析统计分析了1961—2018年间内蒙古生长季（5—9月）昼夜降水的气候变化特征，为未来内蒙古农业发展和生态修复工程的开展提供科学指导。

1 资料与方法

本文降水数据来源于中国气象数据共享网（http://data.cma.cn/），所有数据都由国家气象信息中

收稿日期：2020-03-12； **修订日期：**2020-08-17
基金项目：科技部重大研发计划（2018YFC1506606）；江苏省优秀青年基金项目（BK20170102）资助
作者简介：申露婷（1994-），女，在读硕士研究生，主要研究方向为应用气象. E-mail: 877409935@qq.com
通讯作者：张方敏. E-mail: fmin.zhang@nuist.edu.cn

心经过标准化订正处理，以及严格的质量控制和检查。基于气象观测站点的均一性、资料年代的完整性等原则，选用内蒙古地区103个气象台站1961—2018年生长季(5—9月)逐日地面降水资料(图1)，包括逐日08:00—20:00、20:00—08:00和08:00—08:00地面降水资料。根据中国气象数据观测规范，一日中出现在20:00—08:00的降水作为一个夜降水日，其间降水的累积量作为当日夜降水量；出现在08:00—20:00的降水作为一个昼降水日，其间降水的累积量作为当日的昼降水量[16]。降水强度定义为降水总量与降水日数之比[17]。通过分析，由图1可知，内蒙古58 a的多年平均生长季降水总量呈现东北高西北低的分布特征。



审图号:GS(2019)3333

图1 研究区域及气象站点分布示意图

Fig. 1 Study region with distribution of meteorological stations used in this study

本文采用Mann-Kendall检验进行昼夜降水变化趋势分析[18]；用Morlet小波变换法分析生长季昼夜降水的周期特征[19]。为方便表述，本文分别将1961—1969年、1970—1979年、1980—1989年、1990—1999年、2000—2009年和2010—2018年称为1960s、1970s、1980s、1990s、2000s和2010s。

2 结果与分析

2.1 生长季昼夜降水时间变化特征

由图2a和表1所示，多年均生长季降水总量约为281 mm，占全年降水总量的80%以上。生长季昼降水总量总体上多于夜降水总量，昼和夜降水总量分别为157 mm和124 mm，约占生长季降水总量的55.9%和44.1%。从变化趋势看，昼夜降水总量的变化趋势都不显著，因此，夜降水总量对生长季降水总量贡献率也基本没明显变化(P=0.98)，生长季的降水总量也没明显变化(P=0.64)(图2a)。从年代统计结果看，生长季昼和夜降水总量均在1990s最多，比多年均总量约多9%和11%；均在2000s最少，比多年均总量少11%和13%。对1961—2018年昼夜降水量作Mann-Kendall突变检验，结果表明：昼降水量分别在1985年和2003年有增多和减少的突变，夜降水量分别在1982年和2006年有增多和减少的突变，但均未通过0.05信度检验(图略)。

由图2b和表1所示，多年平均生长季昼降水日数总体上多于夜降水日数，其中昼降水日数为33.7 d，夜降水日数为22.7 d。从变化趋势看，昼夜降水日数均呈减少趋势，但是夜降水日数通过0.05显著性检验，58 a来夜降水日数平均下降约1.5 d。从年代统计结果看，昼降水日数1960s和1980s最多，在2000s最少；夜降水日数1960s和1990s最多，在2000s最少。

2.2 生长季昼夜降水周期分析

由图3可以看出，生长季昼夜降水量在演变过

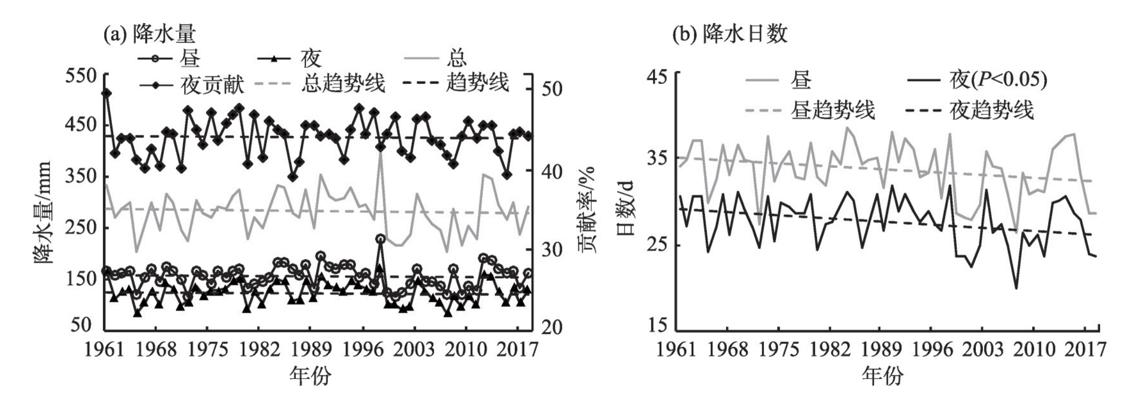


图2 1961—2018年内蒙古生长季降水量和降水日数年际变化

Fig. 2 Interannual variation of precipitation amounts and days during the growing season in Inner Mongolia from 1961 to 2018

表1 1961—2018年内蒙古生长季昼夜降水量和降水日数的年代特征统计

Tab. 1 Decadal average of day and night precipitation amounts and days during the growing season in Inner Mongolia from 1961 to 2018

年代	降水量/mm		降水日数/d	
	昼	夜	昼	夜
1960s	158.2	122.0	34.7	28.7
1970s	155.5	128.4	33.9	28.4
1980s	158.6	123.3	34.7	28.0
1990s	171.2	137.5	34.5	28.7
2000s	139.1	108.5	31.1	25.3
2010s	159.9	126.2	33.5	27.2

程中存在不同的时间尺度特征。昼降水量在其演变过程中主要存在着15～25 a和5～8 a的尺度的周期变化规律,主导着内蒙古58 a来生长季昼降水量在整个研究时域内的变化特征(图3a,3c)。在15～25 a时间尺度上存在降水多—少交替的4次震荡,主要发生在1975年以后;在5～8 a时间尺度上存在降水多—少变化的多次交替。其小波方差存在2个较为明显的峰值,分别对应6 a和23 a的时间尺度,其中23 a时间尺度对应最大峰值,是第1主周期,6 a时间尺度对应次峰值,为第2主周期。

不同于昼降水量的2类周期变化,夜降水量演变过程中存在着23～29 a,11～18 a以及5～7 a的尺度的周期变化规律(图3b,3d)。其中,在23～29 a时间尺度上出现了降水多—少交替的3次震荡,主要发生在2010年以前;在11～18 a时间尺度上有6次震荡,在5～7 a时间尺度上降水量多—少变化现象交替频繁。小波方差结果表明,3个周期的峰值几乎相等,对应着6 a、15 a和29 a的时间尺度,这说明上述3个周期的波动共同控制着生长季的夜降水量在整个研究时域内的变化特征。

由图4可以看出,内蒙古地区58 a来,生长季昼降水日数也有多时间尺度特征,并且昼夜降水日数变化规律基本相似,昼夜降水日数周期变化也类似。昼夜降水日数演变过程中均存在着15～29 a和6～10 a的尺度的周期变化规律。其中,在15～29 a时间尺度上出现了降水日数多—少交替的4次震荡,在整个研究时域上表现较为稳定;在5～10 a时间尺度上存在多次震荡。昼降水日数的主时间尺度为7 a和21 a,其中21 a时间尺度的周期震荡最强,第1主周期,7 a时间尺度对应着第2峰值,为第2

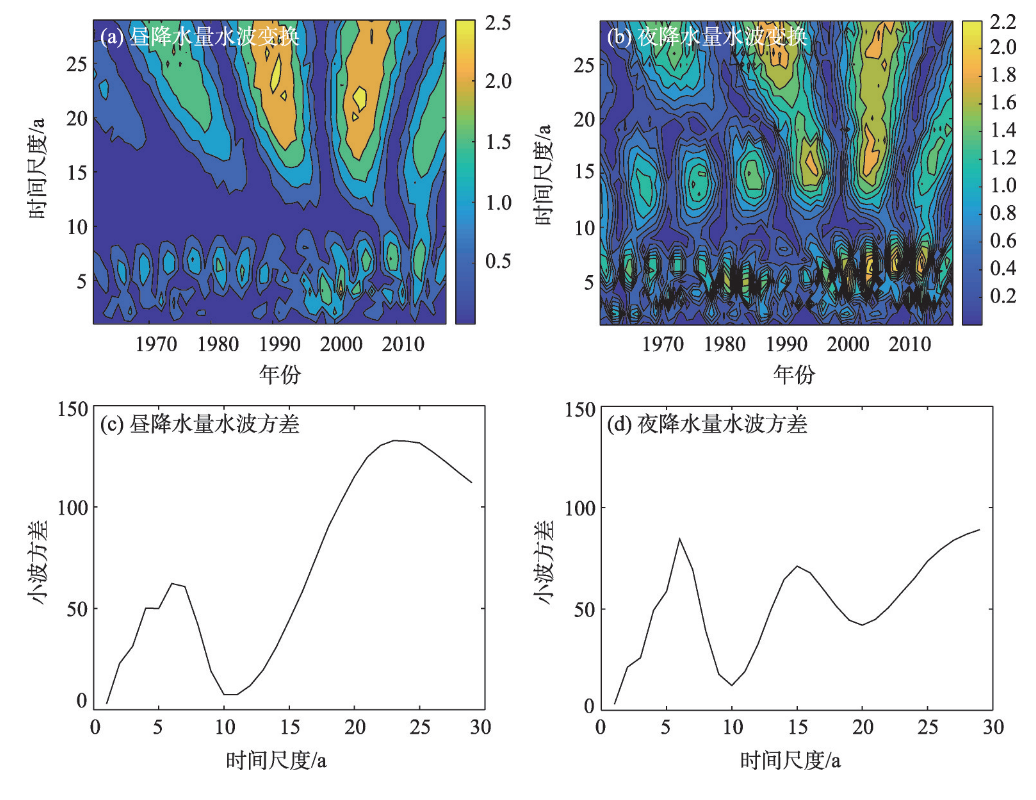


图3 1961—2018年内蒙古生长季昼夜降水量小波分析

Fig. 3 Wavelet analysis of day and night precipitation amounts during the growing season in Inner Mongolia from 1961 to 2018

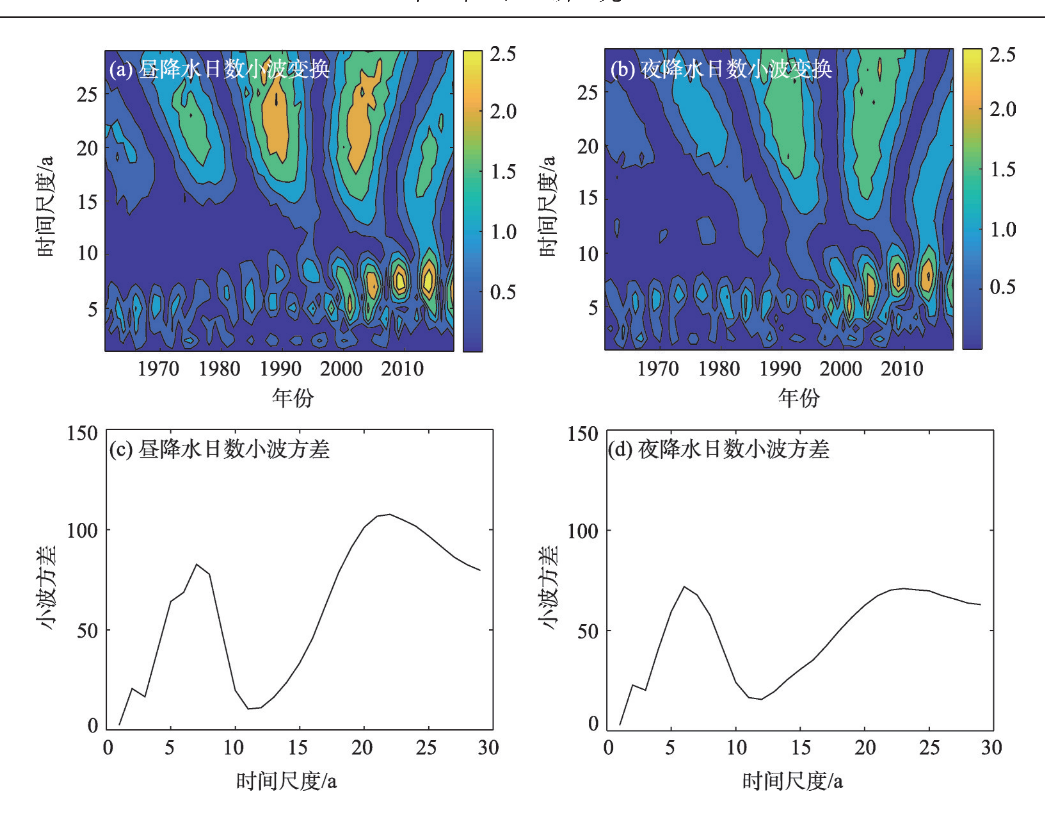


图4 1961—2018年内蒙古生长季昼夜降水日数小波分析

Fig. 4 Wavelet analysis of day and night precipitation days during the growing season in Inner Mongolia from 1961 to 2018

主周期，说明生长季昼降水日数的变化特征以21 a时间尺度为主导。夜降水日数的主时间尺度也为2种，为6 a和22 a，此两种时间尺度对应的峰值几乎相等，说明它们共同控制着生长季的夜降水日数在整个研究时域内的变化周期特征。

2.3 生长季昼夜降水及其变化的空间变化特征

由图5和图6所示，生长季平均年昼夜降水量空间分布相似，均呈现由东北向西北均匀递减的分布特征。其中在呼伦贝尔市东北部高值区，昼降水量大于200 mm，占生长季降水总量的56%，比夜降水量高42 mm。在内蒙古中南部锡林格勒盟和赤峰市交界处昼降水量对日降水量贡献最高，达60%，比夜降水量高50 mm以上，由此向四周地区昼降水量比例逐渐下降。总体上，昼降水量在中南至东北地区比夜降水量高，在内蒙古西北部昼夜降水总量基本相等。

生长季昼夜降水量的变化趋势也较为相似。由图5可知，在呼伦贝尔市西部、兴安盟、通辽市、赤峰市、锡林格勒盟和乌兰察布市降水量呈减少趋势，其余地区呈增加趋势。在昼降水量中，有53%

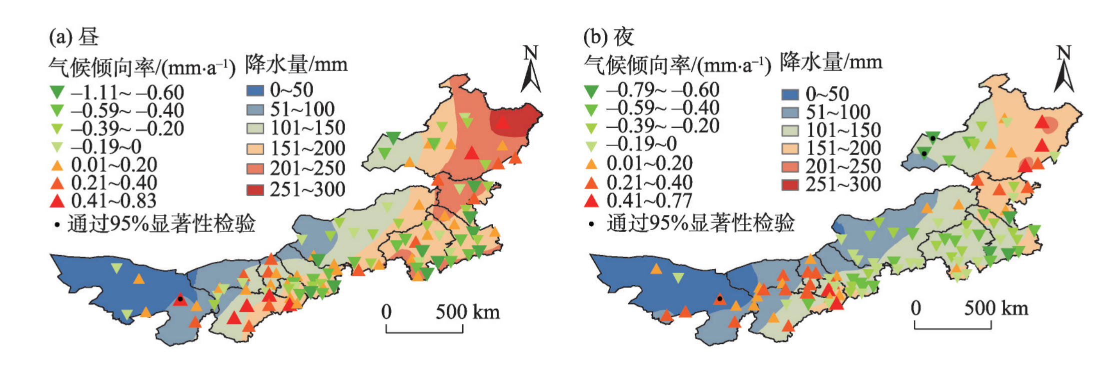


图5 1961—2018年内蒙古生长季昼夜降水量及气候倾向率空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of day and night precipitation amounts during the growing season and climate inclination rate in Inner Mongolia from 1961 to 2018

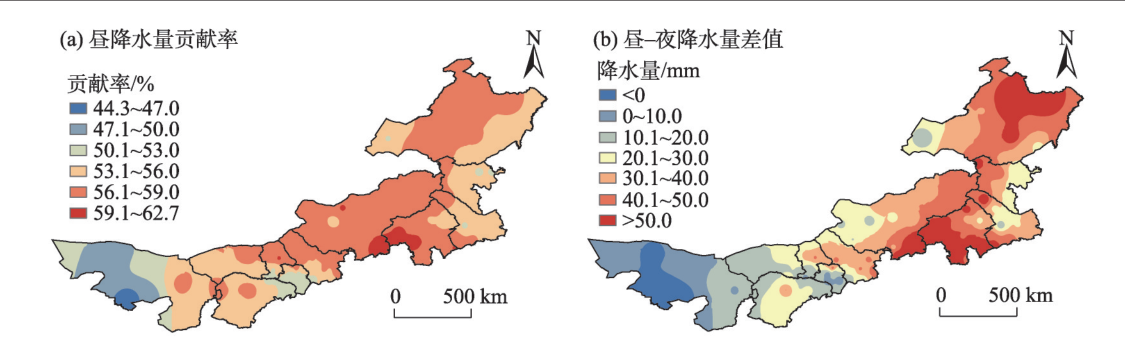


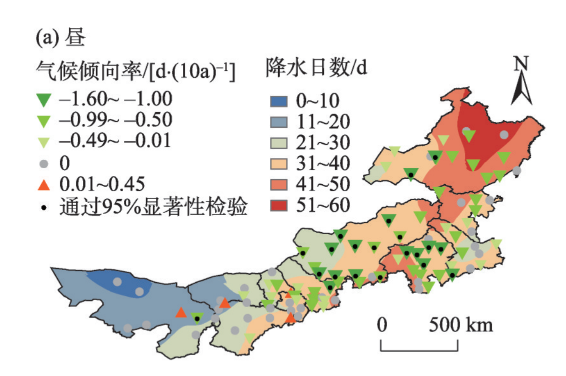
图6 1961—2018年内蒙古生长季降水量贡献率和昼夜降水差值空间分布

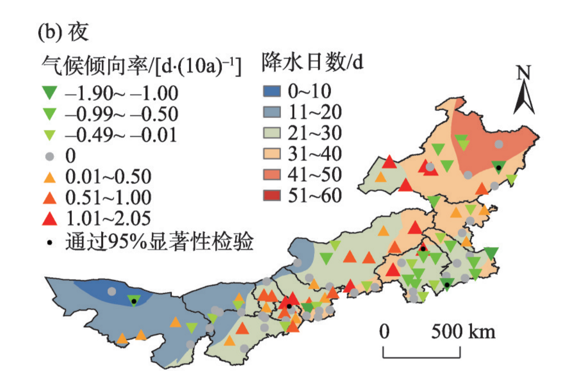
Fig. 6 Spatial distribution of precipitation contribution rate and day-night precipitation differences during the growing season in Inner Mongolia from 1961 to 2018

的站点呈减少趋势,47%的站点呈增加趋势。昼降水量减少最快的站点位于东部的兴安盟,气候倾向率为−1.1 mm·a^{-1},增加最快的站点位于南部的鄂尔多斯市,气候倾向率为0.8 mm·a^{-1}。在夜降水量中,有60%的站点呈减少趋势,40%的站点呈增加趋势。夜降水量减少最快的站点位于东部的通辽市,气候倾向率为−0.8 mm·a^{-1},增加最快的站点位于南部的鄂尔多斯市,气候倾向率为0.8 mm·a^{-1}。

内蒙古地区生长季昼夜降水日数空间变化由图7所示。生长季平均年昼夜降水日数空间分布相似,均呈现由东北向西北均匀递减的分布特征。其中,在呼伦贝尔市东北部高值区,昼日数大于40 d,比夜日数多7 d。在内蒙古中南部锡林格勒盟和赤峰市交界处附近昼夜降水日数差值最大,在内蒙古东南部的通辽市和西部阿拉善盟差值最小。在赤峰市和通辽市交界处科尔沁沙地的降水日数比其四周要小。

生长季昼夜降水日数各站点的变化趋势相差较大(图7),在昼降水日数中,有63%的站点呈减少趋势,20%的站点通过显著性水平检验,集中在中部的锡林格勒盟和赤峰市,仅有4个站点呈上升趋势,其余站点无明显趋势。昼降水日数减少最快的站点位于中部的锡林格勒盟,气候倾向率为−1.6 d·(10a)$^{-1}$(P<0.05),减少最慢的站点位于东南部的通辽市,气候倾向率为−0.2 d·(10a)$^{-1}$。昼降水日数增加最快的站点位于南部的鄂尔多斯市,气候倾向率为0.5 d·(10a)$^{-1}$。在夜降水日数中,有31%的站点呈减少趋势,有35%的站点呈增加趋势,其余站点无明显趋势。夜降水日数减少最快的站点位于北部的呼伦贝尔市东部,气候倾向率为−1.9 d·(10a)$^{-1}$





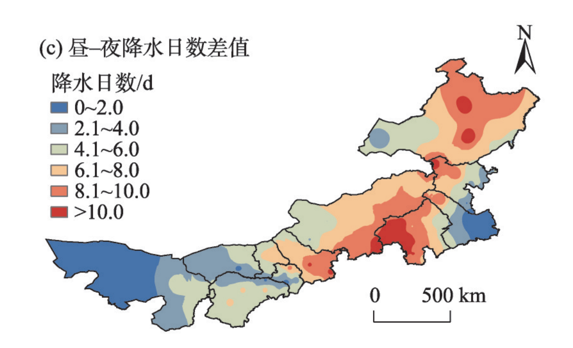


图7 1961—2018年内蒙古生长季降水日数及气候倾向率空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of precipitation days during the growing season and climate inclination rate in Inner Mongolia from 1961 to 2018

(P<0.05),增加最快的站点位于北部的呼伦贝尔市西部,气候倾向率为2.1 d·(10a)$^{-1}$。在呼伦贝尔西部、锡林格勒盟和包头市,昼降水日数呈减少趋势,夜降水日数呈增加趋势。

2.4 生长季昼夜降水逐月变化特征

由表2所示,在5月、6月和9月,大部分站点降水量均呈增加趋势,昼降水量呈显著增加趋势的站点个数最多的月份在9月,夜降水量呈显著增加趋势的站点个数最多的月份在6月。在7和8月,大部分站点降水量呈减少趋势,呈显著减少趋势的站点个数最多的月份均在8月。

由表2还可以看出,与降水量相似,在5月和6月,大部分站点昼夜降水日数呈增加趋势,呈显著增加站点最多的月份均在6月。在7月和8月,几乎所有站点昼夜降水日数均呈减少趋势,昼日数呈显著减少站点最多的月份在7月,高达46个站点。夜日数呈显著减少站点最多的月份在8月,有39个站点。在9月,昼夜降水日数呈增加和减少趋势的站点个数基本相似。

表2 1961—2018年内蒙古生长季昼夜降水量和降水日数变化趋势及站点个数逐月分布

Tab. 2 Statistics for change trends and station numbers of the monthly day and night precipitation amounts and days in Inner Mongolia from 1961 to 2018

要素	变化趋势	显著性	台站数									
			昼					夜				
			5月	6月	7月	8月	9月	5月	6月	7月	8月	9月
降水量	上升	不显著	90	83	16	6	64	87	65	26	11	69
		显著	1	9	0	0	12	2	16	0	0	5
	下降	不显著	12	10	78	74	27	13	12	65	70	27
		显著	0	0	8	23	0	0	0	11	21	0
降水日数	上升	不显著	72	76	4	1	45	74	58	3	1	59
		显著	3	10	0	0	7	1	13	0	0	7
	下降	不显著	27	17	53	68	49	26	30	67	63	34
		显著	1	0	46	34	2	0	0	33	39	2

3 讨 论

内蒙古降水空间分布具有明显的区域差异性,呈现由东南向西北均匀递减分布趋势,且东西差异较大。形成原因一方面是由于该地区东部受到东亚季风影响,东亚季风的影响强度从东南向西北内陆递减;另一方面,可能受地形,特别是山脉走向的影响。于俊伟等[20]认为夜雨除了天气因素外,还与地形条件造成的局地大气动力、热力条件变化密切相关。从地形气候学角度来看,对于以东—西走向为主的山间盆地河谷地带,在夏季太阳直射的情况下,在白天,由于谷底水体热容量较大,增温幅度不如两侧坡地上大,近地层大气较稳定,不易产生降水;在夜间,由于坡地地表长波辐射冷却作用比水体大,坡地近地层的冷空气沿山坡下移到谷底时,将谷底附近的暖湿气块抬升冷却凝结致雨,从而导致夜雨的发生。对于山脉以南—北走向为主的地区,由于白天山体接受太阳热量的差异,易出现山谷垂直环流,在白天易出现降水[21]。针对本文的内蒙古地区,大兴安岭山脉位于内蒙古东北部,北部位于呼伦贝尔最北部,自东北向西南延伸,位于兴安盟、通辽市、赤峰市与锡林格勒盟的交界线处。内蒙古生长季昼夜降水均在大兴安岭山脉处降水最多,且昼降水量多于夜降水量,昼夜降水差值较大,降水日数以大兴安岭山脉为中心向东西两侧均匀减少。

有研究表明,夜间降水多,温度亦较白天低,雨水消耗于蒸发的部分少,而渗入土壤中的水分多,可以提高空气和土壤的湿度,白天晴朗夜间多雨使得昼夜温差增大,有利于光合作用,增加植被干物质积累[22]。可见夜间多雨,对植物生长是十分有利的。本研究表明,在内蒙古西部的干旱、半干旱地区,58 a来生长季的夜降水总量呈增加趋势,一定程度上有利于西部植被生长以及开展生态修复工作。但是,内蒙古东西跨度大,降水强度空间分布不均匀,局部地区昼夜降水日数在减少,导致降水强度上升,因此导致局部地区更易发生旱涝地质灾

害。从内蒙古生长季降水强度距平百分率空间分布(图8)可知,在2010s昼夜降水强度在西部均增强。昼降水强度在内蒙古西部阿拉善盟北边增强最大,降水强度距平百分率平均在10%~20%;而夜降水强度除了在内蒙古西部阿拉善盟北边明显增强外,在内蒙古的东部呼伦贝尔市也显著增加,降水强度距平百分率平均在20%~50%。由此可知,在内蒙古的西部和东部特别是西部沙地随着降水强度的增加易发生水土流失和山洪地质等灾害,今后针对该地区的昼夜降水特点,应该趋利避害,做好科学生态防护,尽可能减小由于强降水特别是夜间强降水造成的损失。

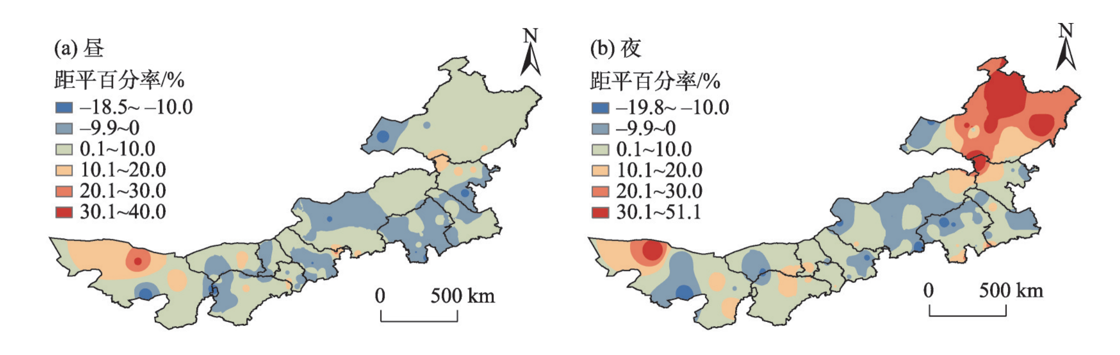


图8 内蒙古2010s生长季昼夜降水强度距平百分率空间分布

Fig. 8 Spatial distribution of day and night precipitation anomalies during the growing season in Inner Mongolia in the 2010s

4 结 论

基于内蒙古地区103个气象站点1961—2018年的日降水资料,采用气候倾向率、Mann-Kendall检验、小波分析和空间插值等方法,分析了该区生长季昼夜降水时空变化特征。主要结论如下:

(1) 从年际变化看,58 a内蒙古地区生长季多年平均昼降水量和昼降水日数总体上多于夜降水量和夜降水日数,昼夜降水量变化趋势不明显,但是昼夜降水日数呈减少趋势。

(2) Morlet小波分析表明生长季昼降水量具有6 a、23 a的周期特征,夜降水量存在6 a、15 a、29 a的周期特征。昼夜降水日数演变过程中均存在着15~29 a和6~10 a的2类尺度的周期变化规律。

(3) 从空间分布看,生长季平均年昼夜降水量和降水日数空间上均呈现由东北向西北均匀递减的分布特征,并且在内蒙古中南部至东北部昼夜降水日数和降水量差值较大,在中西部至西部差值减小。

(4) 从空间变化趋势看,58 a来,昼夜降水量空间变化趋势相似,在中部地区基本呈现下降趋势,在西部和东北部大部分呈现增加趋势。昼夜降水日数空间变化趋势差异很大。昼降水日数在西部基本不变,在中部和东北部基本呈下降趋势,而夜降水日数在中西部和东北西部呈增加趋势,而在东南至东北部呈下降趋势。

(5) 从月份上看,在7月和8月大部分站点的降水量和日数均呈减少趋势,在5月和6月大部分站点降水量均呈增加趋势,在9月昼夜降水日数呈增加和减少趋势的站点个数基本相似。

本文仅对内蒙古生长季昼夜降水量的分布及变化格局进行了分析,而观测到的降水变化是不同时间长度的各种过程叠加在一起的综合效果,内蒙古地区本身跨度大,局地气候变化本身的影响因素更复杂,各地的气候变化周期也不尽相同[23],外加近年来实施大量的生态修复工程,生态得到良好的修复[24],是否对局地昼夜降水分布有影响目前还没存在很大的不确定性,因此,未来针对内蒙古地区生长季昼夜降水量变化原因及形成机制还需要进行深入的研究。

参考文献(References):

[1] 沈永平, 王国亚. IPCC第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1068-1076. [Shen Yongping, Wang Guoya. Key findings and assessment results of IPCC WGI fifth assessment report[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5): 1068-1076.]

[2] 李聪, 肖子牛, 张晓玲. 近60年中国不同区域降水的气候变化特征[J]. 气象, 2012, 38(4): 419-424. [Li Cong, Xiao Ziniu, Zhang

Xiaoling. Climatic characteristics of precipitation in various regions of China for the past 60 years[J]. Meteorological Monthly, 2012, 38(4): 419-424.]

[3] 任国玉, 任玉玉, 战云健, 等. 中国大陆降水时空变异规律——Ⅱ. 现代变化趋势[J]. 水科学进展, 2015, 26(4): 451-465. [Ren Guoyu, Ren Yuyu, Zhan Yunjian, et al. Spatial and temporal patterns of precipitation variability over mainland China Ⅱ: Recent trends[J]. Advances in Water Science, 2015, 26(4): 451-465.]

[4] 姚惠明, 吴永祥, 关铁生. 中国降水演变趋势诊断及其新事实[J]. 水科学进展, 2013, 24(1): 1-10. [Yao Huiming, Wu Yongxiang, Guan Tiesheng. Diagnose of precipitation evolution trend in China and new facts[J]. Advances in Water Science, 2013, 24(1): 1-10.]

[5] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164. [Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, et al. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in Northwest China[J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(2): 152-164.]

[6] 林云萍, 赵春生. 中国地区不同强度降水的变化趋势[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2009, 45(6): 995-1002. [Lin Yunping, Zhao Chunsheng. Trends of precipitation of different intensity in China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2009, 45(6): 995-1002.]

[7] 崔彩霞, 李杨, 杨青. 新疆夜雨和昼雨的空间分布和长期变化[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 903-907, 1002. [Cui Caixia, Li Yang, Yang Qing. Spatial distribution and long-term variation of nocturnal and daytime rainfall in Xinjiang[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(5): 903-907, 1002.]

[8] Liu W J, Li H M, Duan W P. Analysis on night rain agricultural climate resources in Xishuangbanna of China[J]. Journal of Natural Resources, 1997, 12(4): 330-335.

[9] 王胜, 谢五三, 唐为安, 等. 1961—2009年淮河流域昼夜降水变化特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2881-2887. [Wang Sheng, Xie Wusan, Tang Wei'an, et al. Change characteristics of day and night precipitation in Huaihe River Basin in 1961-2009[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(12): 2881-2887.]

[10] 胡迪, 李跃清. 青藏高原东侧四川地区夜雨时空变化特征[J]. 大气科学, 2015, 39(1): 161-179. [Hu Di, Li Yueqing. Spatial and temporal variations of nocturnal precipitation in Sichuan over the eastern Tibetan Plareau[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2015, 39(1): 161-179.]

[11] 余忠水. 1955—2007年拉萨市雨季夜雨率变化特征[J]. 气象, 2011, 37(12): 1584-1588. [Yu Zhongshui. The night rain rate variations of Lhasa in rainy season during 1955-2007[J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(12): 1584-1588.]

[12] 时忠杰, 高吉喜, 徐丽宏, 等. 内蒙古地区近25年植被对气温和降水变化的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(11): 1594-1601. [Shi Zhongjie, Gao Jixi, Xu Lihong, et al. Effect of vegetation on changes of temperature and precipitation in Inner Mongolia, China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011, 20(11): 1594-1601.]

[13] 马爱华, 岳大鹏, 赵景波, 等. 近60 a来内蒙古极端降水的时空变化及其影响[J]. 干旱区研究, 2020, 37(1): 74-85. [Ma Aihua, Yue Dapeng, Zhao Jingbo, et al. Spatiotemporal variation and effect of extreme precipitation in Inner Mongolia in recent 60 years [J]. Arid Zone Research, 2020, 37(1): 74-85.]

[14] 马梓策, 于红博, 张巧凤, 等. 内蒙古地区1960—2016年气温和降水特征及突变[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 114-121. [Ma Zice, Yu Hongbo, Zhang Qiaofeng, et al. Characteristics and abrupt change of temperature and precipitation in Inner Mongolia area over the period 1960-2016[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(3): 114-121.]

[15] 包云, 李晓兵, 黄玲梅, 等. 1961—2007年内蒙古降水时空分布[J]. 干旱区地理, 2011, 34(1): 52-61. [Bao Yun, Li Xiaobing, Huang Lingmei, et al. Sptatial-temporal distribution characteristics of precipitation in Inner Mongolia from 1961-2007[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(1): 52-61.]

[16] 白松竹, 李博渊, 黄晓华. 阿勒泰地区暖季昼夜降水气候特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(1): 45-51. [Bai Songzhu, Li Boyuan, Huang Xiaohua. Climate characteristics of the diurnal precipitation in Altay in the warm season[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2015, 9(1): 45-51.]

[17] 孙凤华, 杨素英, 任国玉. 东北地区降水日数、强度和持续时间的年代际变化[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 610-618. [Sun Fenghua, Yang Suying, Ren Guoyu. Decade variations of precipitation event frequency, intensity and duration in the northeast China [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007, 18(5): 610-618.]

[18] Burn D H, Burn M A, Hag E. Detection of hydrologic trends and variability[J]. Journal of Hydrology, 2002, 255(1-4): 107.

[19] 许月卿, 李双成, 蔡运龙. 基于小波分析的河北平原降水变化规律研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2004, 34(12): 1176-1183. [Xu Yueqing, Li Shuangcheng, Cai Yunlong. Study on the variation of precipitation in Hebei Plain based on wavelet analysis[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2004, 34(12): 1176-1183.]

[20] 于俊伟, 吴战平, 高秋沙. 贵州的夜雨特征[J]. 贵州气象, 2010, 34(2): 13-14, 17. [Yu Junwei, Wu Zhanping, Gao Qiusha. The night-rain characteristic of Guizhou[J]. Journal of Guizhou Meteorology, 2010, 34(2): 13-14, 17.]

[21] 余忠水, 康世昌, 蒋建莹. 青藏高原夏季夜雨率空间分布及其变化特征[J]. 山地学报, 2011, 29(5): 627-632. [Yu Zhongshui, Kang Shichang, Jiang Jianying. Spatial and temporal variations of the night-rain rate during summer over the Tibetan Plateau[J]. Mountain Research, 2011, 29(5): 627-632.]

[22] 段春锋, 曹雯, 缪启龙, 等. 中国夏季夜雨的空间分布特征[J]. 自然资源学报, 2013, 28(11): 1935-1944. [Duan Chunfeng, Cao Wen, Miao Qilong, et al. Spatial distribution of night rainfall in summer over China[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28

(11): 1935−1944.]

[23] 王澄海, 李健, 李小兰, 等. 近50 a中国降水变化的准周期性特征及未来的变化趋势[J]. 干旱区研究, 2012, 29(1): 1−10. [Wang Chenghai, Li Jian, Li Xiaolan, et al. Analysis on quasi−periodic characteristics of precipitation in recent 50 years and trend in next 20 years in China[J]. Arid Zone Research, 2012, 29(1): 1−10.]

[24] Gang C C, Gao X R, Peng S Z, et al. Satellite observations of the recovery of forests and grasslands in Western China[J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2019, 124(7): 1905−1922.

Climate characteristics of day and night precipitation during the growing season in Inner Mongolia from 1961 to 2018

SHEN Lu-ting[1,2], ZHANG Fang-min[1,2], HUANG Jin[1,2], LI Yun-peng[3]

(1. *College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing* 210044, *Jiangsu, China*; 2. *Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing* 210044, *Jiangsu, China*; 3. *Ecology and Agrometeorology Center of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot* 010051, *Inner Mongolia, China*)

Abstract: The aim of this study is to provide scientific guidance for agricultural development and ecological restoration projects in Inner Mongolia. The spatial and temporal climate characteristics of day and night precipitation amounts in Inner Mongolia during the growing season from 1961 to 2018 were analyzed based on the daily surface precipitation data collected at 103 meteorological observation stations using trend analysis, Mann-Kendall test, and Morlet wavelet. In the past 58 years, the average annual precipitation amounts in the daytime were more than those at night during the growing season in Inner Mongolia. However, day and night precipitation amounts showed significant monthly variation as well as different oscillation periods. The day and night precipitation amounts did not change obviously, but the number of day and night precipitation days showed decreasing trends. The annual precipitation amount and days had similar spatial distributions, decreasing from the northeast to the southwest. Day precipitation contributed more to the daily total precipitation amount in south−central and eastern Inner Mongolia, whereas the difference between day and night precipitation amounts (DDNA) and the difference between day and night precipitation days (DDND) were both higher than west Inner Mongolia. The DDNA and DDND were smaller in western Inner Mongolia. In addition, the variation patterns of day and night precipitation were similar, showing decreasing trends in central Inner Mongolia but increasing trends in western and eastern Inner Mongolia. However, the number of day and night precipitation days showed quite different spatial variation patterns. The number of day precipitation days did not change obviously in western Inner Mongolia but decreased in central and northeast Inner Mongolia. The number of night precipitation days increased in western, central, and northeastern Inner Mongolia but decreased from southeast to northeast.

Keywords: day and night precipitation; night precipitation rate; change trend; oscillation period; Inner Mongolia